

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平7-500459

第7部門第2区分

(43) 公表日 平成7年(1995)1月12日

(51) Int.Cl.*

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 21/3065

C 2 3 C 16/50

C 2 3 F 4/00

8116-4K

A 8414-4K

8719-4M

H 0 1 L 21/ 302

C

審査請求 有

予備審査請求 未請求(全 9 頁)

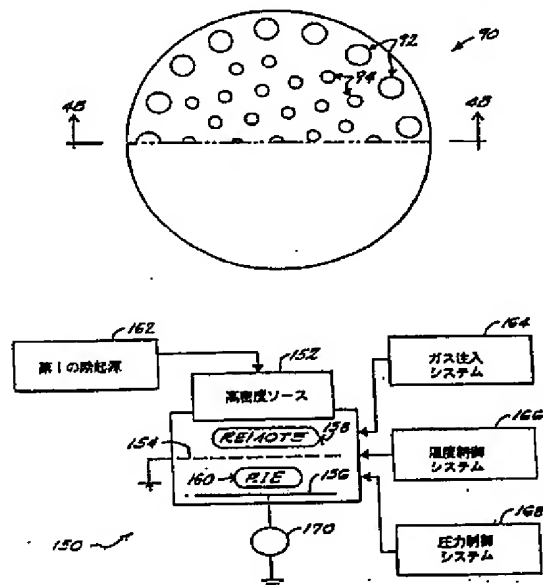
(21) 出願番号 特願平6-506321
 (86) (22) 出願日 平成5年(1993)8月4日
 (85) 翻訳文提出日 平成6年(1994)4月12日
 (86) 国際出願番号 PCT/US93/07344
 (87) 国際公開番号 WO94/05035
 (87) 国際公開日 平成6年(1994)3月3日
 (31) 優先権主張番号 929, 099
 (32) 優先日 1992年8月13日
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (81) 指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M C, NL, PT, SE), JP, KR

(71) 出願人 ラム リサーチ コーポレーション
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州
 94538 フリーモント クーシング パークウェイ 4650
 (72) 発明者 マハー ジョセフ エイ
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州
 01982 サウス ハミルトン ベリーウッド レーン 30
 (72) 発明者 ケント マーティン エイ
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州
 01810 アンドーヴァー コーベット ストリート 14
 (74) 代理人 弁理士 中村 総 (外6名)

(54) 【発明の名称】 中空アノードのグロー放電装置

(57) 【要約】

2電極及び3電極反応炉の形態の付着及びエッチング用の中空アノードグロー放電装置は、改良された均一性、効率及び低圧力基体処理を与える。イオン優性プロセスにおいて、この装置は、多数のマルチサイズの均一離間穴(92, 94)を有する高エネルギー密度の均一化グリッド(90)を備え、更に、化学優性プロセスにおいては、装置は、多数の均一離間穴と、段状又は連続的に可変な非平面プロファイルとを有する高エネルギー密度の均一化グリッドを備え、更に、低圧力のイオン優性及び/又は化学優性プロセスにおいては、装置は、ダークスペース作用を克服するに充分な大きな巾の多数の均一サイズの離間された穴を有する高エネルギー密度のグリッドを備え、そして更に、イオン優性及び/又は化学優性のプロセスにおいては、装置は、高密度の選択されたエネルギーのイオンを発生するように相乗的に共働する高エネルギー密度源を備えている。



明 細 書
中空アノードのグロー放電装置

発明の分野

本発明は、基体処理の分野に係り、より詳細には、改善された均一性、効率、及び低圧動作を与える新規なグロー放電基体表面処理装置に係る。

先行技術

単一基体の基体表面処理装置には一般に2つの形式がある。その1つの形態においては、プラズマのような基体表面処理媒体が2極管構成の2つの電極により制御可能に発生され、そしてその別の形態においては、基体表面処理媒体が8極管又は他の8電極構成の3つの電極によって制御可能に発生される。このような装置の場合に、1つ以上の選択された表面処理媒体が、半導体ウェハ又は他の材料の適当に準備された表面と相互作用されて、意図されたマイクロ構造体をそこに形成し及び/又は1つ以上の手前の基体表面処理段階から残っている不所望な残留物をそこから除去するようにされる。当業者に知られた2極管及び3極管の反応炉は種々のものがあるが、とりわけ、本発明の譲受人から商業的に入手できるモデル1384「2極管反応炉及びGCAコーポレーションから商業的に入手できるモデルWafer Etcher 806/618の3極管反応炉がある。2極管反応炉の場合には、プラズマのような基体表面処理媒体が2極管構成の2つの電極間に制御可能に発生され、一方、3極管反応炉では、プラズマのような基体表面処理媒体が、上部電極とグリッド電極との間、及びグリッド電極と下部電極との間に制御可能に発生される。

2極管又は3極管のいずれの構成であっても単一基体の基体表面処理炉により制御可能に発生される基体表面処理媒体には一般に2つの形式がある。ある形式の基体表面処理、例えば、半導体ウェハ又は他の基体上の腐化物又は他の材料のエッチングを行う場合には、これら反応炉は、主として選択されたイオンによって構成された基体表面処理媒体を発生し、一方、他の形式の基体表面処理、例えば、半導体ウェハ又は他の基体上のアルミニウム又は他の材料の塩素エッチングを行う場合には、これら反応炉は、主としてある選択された化学種によって構成された基体表面処理媒体を発生する。前者の形式の処理は、「イオン慣性(ion-

dominated)」処理として知られており、一方、後者の形式は、「化学慣性(chemically-dominated)」処理として知られている。このイオン慣性及び化学慣性処理は、形成される特定のマイクロ構造及び全製造プロセスの段階に基づき、基体の表面上での機械(付着、成長及びその他)、又は基体の表面からの除去(エッチング及びその他)のいずれかに制御可能に影響を及ぼし得る。

イオン慣性及び化学慣性の両方の処理についてこれまでに知られている2極管又は3極管構成の反応炉の有用性は、得ることのできる基体表面処理の均一性の程度に関して限度がある。例えば、より多くの処理回路が大きな半導体ウェハ上に製造される非常に大規模な集積(VLSI)に適用する場合に、製造されるデバイスの有効率は、基体表面処理装置により得られる均一性の程度に左右される。基体当たりに製造される集積回路デバイスの効率を高くするためにウェハの半径方向サイズを増加するにつれて、ウェハ全体にわたって均一性を得ることの困難さが対应的に厳しいものとなる。デバイスの効率は、得られる均一性の程度に正比例するので、装置設計の技術は、基体表面の処理の均一性が改善されるのと同じ程度に進歩する。

2極管又は3極管のいずれの電極構成のものであれ、これまでに知られている反応炉の有用性は、選択されたイオン慣性及び化学慣性の処理を半導体ウェハ又は他の基体において効率的に実行することのできる圧力に関して更に限度がある。例えば、非常に小さな特徴をもつマイクロ構造体を製造することが所望されるようなVLSIに適用する場合には、製造することのできる細部の微細さ及び縮小度が反応炉内の圧力によって左右される。選択されたイオン慣性及び化学慣性プロセスが実行される圧力を下げるにつれて、製造することのできるマイクロ構造体の微細さ及び縮小度は対应的に増加される。しかしながら、3極管構成の反応炉では約70 mTorrそして2極管構成の反応炉では約800 mTorrの圧力以下では、これまでに知られている基体表面処理装置の効率が低くなり過ぎて実用的な処理を行えず、これは、所望である以上に大きく且つ高いレベルでこれまで製造することのできたマイクロ構造体の微細さ及び縮小度を「凍結」する。製造することのできるマイクロ構造体の微細さ及び縮小度の程度は、これらの反応炉内の圧力レベルに逆比例するので、装置設計の技術は、低圧処理を効率的に得るこ

とができるのと同じ程度に進歩する。

発明の要旨

従って、本発明は、その主たる目的として、2極管又は3極管又は他の多電極構成の基体表面処理装置であって、基体の処理及び/又は除去のためのイオン慣性及び/又は化学慣性処理に対して改善された均一性、効率及び低圧動作を与えるような基体表面処理装置を開示する。改善された均一性のイオン慣性処理に対する1つの実施例によれば、本発明の装置は、反応容器と；この反応容器内に取り付けられた少なくとも第1及び第2の離間された電極であって、これらの電極間に基体表面処理媒体形成領域を構成するような第1及び第2の離間された電極と；これら電極の一方の付近にある基体ホルダーと；基体表面処理媒体形成反応剤を上記反応容器に注入するためのガス注入手段と；少なくとも1つの電気的助起源と；該少なくとも1つの電気的助起源と上記少なくとも第1及び第2の離間された電極との間に接続されてこれら電極の片方を接地する一方、この接地された片方の電極に中空(ホロー)アノードのグロー放電を誘起させるようにこれら電極の他方を付勢させるような結合手段とを備え；上記電極の上記接地された片方は、これを貫通する穴の少なくとも第1及び第2グループを有し、これらの穴内で上記中空アノードグロー放電が生じるようにされ；上記少なくとも第1及び第2のグループの穴は、基体の全面にわたり実質的に均一の基体表面処理を行うように選択された所定の異なる特性のものである。改善された均一性のイオン慣性処理の実施例においては、上記接地された電極の少なくとも第1及び第2の穴グループの穴の所定の特性が、異なるサイズとなるように選択される。

更に、改善された均一性の化学慣性処理に対する一実施例によれば、本発明の装置は、反応容器と；この反応容器内に取り付けられた少なくとも第1及び第2の離間された電極であって、これらの電極間に基体表面処理媒体形成領域を構成するような第1及び第2の離間された電極と；これら電極の一方の付近に基体を保持する基体ホルダーと；反応剤を上記反応容器に注入するためのガス注入手段と；電気的助起源と；該電気的助起源と上記少なくとも第1及び第2の離間された電極との間に接続されてこれら電極の片方を接地すると共に、この接地された片方の電極に中空アノードのグロー放電を誘起させるようにこれら電極の他方を

付勢させるような結合手段とを備え；上記電極の上記接地された片方は、上記中空アノードグロー放電が生じる少なくとも1つの貫通する穴を有し；上記少なくとも第1及び第2の電極の上記接地された片方は、基体全面にわたり実質的に均一の基体表面処理を行うように選択された仕方で平面性からずれた所定の非平面プロファイルを持している。改善された均一性の化学慣性処理の実施例では、上記所定の非平面プロファイルは、凹状であるように選択される。凹状プロファイル以外の連続的な非平面プロファイル、及び非平面の「段状」プロファイルも、本発明の概念から逸脱せずに使用することができる。

更に、選択されたイオン慣性及び/又は化学慣性処理のための改善された低圧処理に対する一実施例によれば、本発明の装置は、反応容器と；この反応容器内に取り付けられた少なくとも第1及び第2の離間された電極であって、これらの電極間に基体表面処理媒体形成領域を構成するような第1及び第2の離間された電極と；これら第1及び第2の離間された電極の一方の付近に基体を保持可能に保持する基体ホルダーと；基体表面処理反応剤を上記反応容器に注入するためのガス注入手段と；電気的助起源と；該電気的助起源と上記第1及び第2の離間された電極との間に接続されてこれら電極の片方を接地する一方、これら少なくとも第1及び第2の電極のこの接地された片方の電極に中空アノードのグロー放電を誘起させるようにこれら電極の他方を付勢させるような結合手段と；上記反応容器に100 mTorr以下であるように選択された所定の圧力を選択的に確立するための圧力制御手段とを備え；上記電極のうちの接地された上記片方は、上記中空アノードグロー放電が生じる複数の貫通する穴を有し、これらの穴は、4.9 mmより大きくように選択された所定の巾を有する。本発明によれば、この接地されたグリッド電極の穴のサイズは、中空アノードグロー放電が生じる仕方を制御し、低い圧力で基体表面処理を行えるようにすると共に、これまで可能であると考えられていた以上に対应的に細い幅部及び縮尺のマイクロ構造体を製造できるようにする。

更に、改善された低圧力、選択されたエネルギーのイオン慣性及び/又は化学慣性処理に対する一実施例によれば、本発明の装置は、反応容器と；イオンを発生する高エネルギー源と；互いに且つ該高エネルギー源から離間された第1及び

第2の電極であって、上記反応容器に取り付けられて、上記高エネルギー源とこれら第1及び第2の離間された電極の一方との間に第1の基体表面処理媒体形成領域を画成すると共に、これら第1と第2の離間された電極との間に第2の基体表面処理媒体形成領域を画成するような第1及び第2の電極と、これら第1及び第2の離間された電極の一方の付近に基体を解放可能に保持するためのホルダーと；電気的助起源と；該電気的助起源と上記第1及び第2の離間された電極との間に接続されてこれら第1及び第2の電極の片方を接地し、これら第1及び第2の電極のこの接地された片方の電極に中空アノードのグロー放電を誘起させるようにこれら電極の他方を付勢させ、そして選択されたエネルギーのイオンを基体へと移動させるような結合手段とを備え；上記第1及び第2の電極の接地された片方は、上記中空アノードのグロー放電が生じるところの複数の貫通する穴を有し、これらの穴を通して、上記高エネルギー源により上記第1の基体表面処理媒体形成領域に発生された高エネルギーイオンが、上記第2の基体表面処理媒体形成領域と連通し、そして所与の転位動作点において存在するであろう以上の割合の選択されたエネルギーのイオンをこの第2の基体表面処理媒体形成領域に与えることにより上記中空アノードグロー放電を相対的に増大させ、これにより、これまで可能であると考えられていたものより低い圧力及び高い密度において効率的改善された選択されたエネルギーの処理を与える。高エネルギー源は、この実施例においては電気的に増加されるソースであるが、本発明の概念から逸脱せずに、RF（高周波誘導）及びECR（電子サイクロトロン共振）又は他の高エネルギー源を使用することができる。

本発明のこれら及び他の目的、特徴、及び効果は、添付図面を参照した好ましい実施例の以下の詳細な説明により本発明が理解されるにつれて明らかとなるであろう。

図面の簡単な説明

図1は、クラサキ氏等の共通に譲渡された米国特許第5,013,400号に開示され請求された形式の典型的な公知の2極管反応炉及び3極管反応炉を各々図1A及び1Bに概略的に示した図である。

図2は、本発明の原理を説明するのに有用な図である。

るように見え、従って、上部電極14は「アノード」と称し、そして下部の付勢される電極16は「カソード」と称する。図2Bにより概略的に示されそして「RIE」と表示された反応性イオンエッチング（RIE）プラズマは、良く知られたように反応炉10の反応容器12内でアノード14とカソード16との間に制御可能に発生される。

図1Bの概略図には、参考としてここに取り上げる1991年5月7日付けのクラサキ氏等の「シャッパンプロファイルを形成する乾燥エッチングプロセス、及び乾燥エッチング装置(DRY ETCH PROCESS FOR FORMING CHAMPAGNE PROFILES, AND DRY ETCH APPARATUS)」と題する共通に譲渡された米国特許第5,013,400号に開示された形式の3極管反応炉が30で一般的に示されている。この3極管反応炉30は、上部電極34、接地されたグリッド36及び下部電極38が3極管構成で離間関係に取り付けられた反応容器32を備えている。上部電極34及び下部電極38は、「RF」と示された電気助起源40に、各々、可変キャパシタ「C1」及び「C2」を経、電気助起源40に並列にキャパシタ「C」及び直列インダクタ「L」を含む回路に於て接続される。

ガス注入システム42は、気相の選択された反応剤を制御可能に注入するために反応容器32に接続され、温度制御システム44は、容器32の温度及びその電極の温度を制御するために反応容器32に接続され、そして圧力制御システム46は、選択された動作圧力を確立して維持するために反応容器32に接続される。好ましい実施例では、ガス注入システム42は、上部電極34とグリッド36との間に配置されたガス拡散器（図示せず）を備えており、そして上部電極34には複数の貫通する穴（図示せず）が設けられており、注入されたガスはこれらの穴を通して反応容器32へ流れ込む。

好ましい実施例の温度制御システム44は、上部電極34の温度を制御するために水のような熱伝導流体を循環させることのできる通路（図示せず）を上部電極34内に含んでいる。又、反応容器の温度を制御するための低圧加熱素子を受け入れるボア（図示せず）が容器32に設けられるのが好ましく、そして下部電極38には、該下部電極の温度を制御するためにヘリウムのような熱伝導流体を循環させるボア（図示せず）が設けられる。又、下部電極38は、その温度を制御する

ために水のような熱伝導流体を循環させる穴（図示せず）も有している。

グリッド電極36は、図示されたように電気的に接地される。この電極には、巾が4.9mm以下の穴が均一に設けられる。電気助起源40は、可変キャパシタ「C1」及び「C2」を経、上部電極34及び下部電極38に接続され、上部電極34とグリッド36との間に「REMOTE」と表示されたプラズマ48のみを選択的に形成し、グリッド36と下部電極38との間に「RIE」と表示されたプラズマ50のみを形成し、そして上部電極34とグリッド36との間及びグリッド36と下部電極38との間にプラズマを形成することができるようになる。

好ましい実施例の圧力制御システム46は、好ましくは反応容器32内に配置されたU字管圧力計（図示せず）からフィードバックを受け取る圧力制御器（図示せず）を備えている。この制御器は、500torr ないし3000torrの圧力範囲から選択されたチャンプ設定点圧力に反応すると共に、U字管圧力計により供給される圧力の読みに応答して、反応容器32とポンプ（図示せず）との間に接続されたオリフィスバルブ（図示せず）を制御可能に絞り、対応する設定点圧力を反応容器32に確立し維持する。もちろん、1torr ないし10000torrの別の圧力範囲を設けることもできる。

図1Bの3極管反応炉30の1つの動作モードにおいては、グリッド36を接地した状態で下部電極38に全電力を供給するが上部電極34には電力を供給しないことにより、RIEプラズマ50のみが形成される。図1Bのいわゆる3極管反応炉30と、電極14と16との間にRIEプラズマ26を同時に形成する図1Aの2極管反応炉10は、同一の電極及びプラズマ構成を有している。しかしながら、2極管反応炉10と、2極管反応炉として動作される3極管反応炉30とにおいて同じ反応が行われるときには、2極管反応炉10と、2極管反応炉として構成された3極管反応炉30は、意外なことに、かなり異なるプロセス特性を生じることが分かった。例えば、C:FをS:Oと反応させて、図1A及び1Bの2極管反応炉10及び2極管として動作する3極管反応炉30の両方において二酸化シリコンエッチングを行うような例示的なエッチングの場合に、2極管反応炉10のエッチング割合は、該2極管反応炉の圧力が減少するにつれ

て減少するように測定されたが、2極管反応炉として構成された3極管反応炉30は、圧力が減少するにも関わらずそのエッチング割合を比較的高いレベルに維持する。約100mTorr以下では、エッチング割合は、2極管反応炉10の場合に毎分数百人に過ぎないが、2極管反応炉として構成された3極管反応炉30の場合にはほぼ同じ100mTorrにおいて、エッチング割合は、毎分数千程度に保たれ、2極管反応炉10での標準的なR1Eエッチングよりも約20倍も優れている。

圧力性能についてのこの意外な相違に加えて、図1Bの3極管反応炉30が2極管反応炉として構成されて動作されるにも関わらず、図1Aの2極管反応炉10の同じ例示のエッチングに対して示される均一性は、図1Bの3極管反応炉30によって与えられる均一性と異なることが分かった。図1Aの2極管反応炉10の場合には、エッチング割合は、ウェハの中央部又はその付近の領域では高いがその縁においては低く、2極管反応炉として動作する図1Bの3極管反応炉30の場合には、均一性を自己ウェハを横切って維持されるが、図1Aの2極管反応炉10のようにその中央部と縁との間で同じ変化を示さない。

本発明は、エッチング割合及び均一性のこれら及び他の相違がここに述べる中空アノードグロー放電に起因するもので、このグロー放電は図1Bの3極管反応炉30のグリッドの空所自体に生じて、R1Eプラズマを支配し且つエッチング割合を維持すると共に、図1Aの2極管反応炉10の同じR1Eプラズマが処理の均一性を歪め及び/又はそれ自体を消滅するような低い圧力でも均一性を発揮するものであることを認識することに基いている。これまで認識されていないこの現象は、改善された均一性、効率及び低圧動作を与えるグロー放電装置を本発明によって構成できるようにする。

図2を参照すれば、本発明の原理を説明するのに有用な構成が60で一般的に示されている。3極管反応炉30(図1B)の一般的に62で示す付勢された下部電極と、一般的に64で示す堆積されたグリッドとの間には、「E」と表示された電界66が延びている。「E」と表示された円68によって概略的に示された電子は、電極62と64との間に定められたR1Eプラズマ形成領域に存在するもので、電界66によってグリッド64へ加速される。電子68の幾つかは、

グリッド64を貫通する一般的に70で示された少なくとも1つの穴を構成する内壁に衝突し、このような各電子68に対し、「e」と表示された円72で概略的に示された複数の電子72が二次放出プロセスによって発生される。これらの二次電子72は、次いで、少なくとも1つの穴70の各々に捕らえられ、穴を構成する内面する内壁間で前後に振動する。

この振動する二次電子72は、少なくとも1つの穴70の空所内に存在するガス分子と衝突し、「+」と表示された円74で概略的に示された多数のイオンを発生する。二次電子及びイオン発生プロセスは、アバランシェ(なだれ)及びブレークダウンを生じ、少なくとも1つの穴70の各々の軸に沿って電子密度が高いことを特徴とする中空アノードグロー放電が、少なくとも1つの穴70の各空所に形成される。

本発明によれば、少なくとも1つの穴70の各々の周囲には、破線76で概略的に示され、「V₀」と表示された電位をもつ無グローのダークスペース領域が形成される。各穴70におけるグロー放電の強度は穴のサイズに比例しており、ダークスペース領域76の空間の程度は、対応する穴70の圧力に逆に関係している。又、典型的に負の直線バイアス電圧を使用する付勢された電極62の周りには、破線80で概略的に示され、「V₀」と表示された電位をもつ無グローのダークスペース領域が形成される。

図3は、その図3Aないし3Dにおいて、飽和イオン電流の変化を縦軸にプロットしそして反応炉におけるZ位置を横軸にプロットしたものを示しており、ここで、1.5の横軸値は、例示的なC、Fの化学反応に対する反応炉内のグリッド位置に対応し、そして縦軸の値はZプロフィールメータによって測定されたものである。「穴なし」グリッドに対しイオン電流をZの位置と共に示した図3Aのグラフ82によって示されたように、イオン電流は、グリッドの下領域に対し、150マイクロアンペア未満でピークとなる。各々7mm、11mm及び17mm直径の複数の均一サイズの貫通穴を有するグリッドに対応する図3B、3C及び3Dのグラフ84、86及び88は、グリッドを貫通する穴のサイズが変化することによって飽和イオン電流がいかに変化するかを表している。グラフ84、86及び88の各々のイオン電流は、グリッド位置において、例示的なC、Fの

の化学反応の場合に付与された圧力によって決まる最大値でピークとなる(100、200及び300ワットにおける多数のピークを比較されたい)。

図4を参照すれば、本発明によるイオン慣性処理のための高エネルギー密度の均一化グリッドが90で一般的に示されている。この好ましい実施例のグリッド90は、図1Bの3極管反応炉30内に取り付けられるが、本発明の概念から逸脱することなく、図1Aの2極管反応炉10、或いは2極管、3極管又は他の多極管反応炉として構成された何らかの他の反応炉内に取り付けることができる。どのような反応炉に取り付けられようと、グリッド90が堆積されて基体支持電極が付勢されて、その各々の穴に中空アノードグロー放電を誘起するのが好ましい。

グリッド90は、各々92、94で一般的に示された少なくとも第1及び第2グループの貫通する穴を有し、これらの穴グループは、高エネルギー密度の中空アノードグロー放電が生じるところの所定の異なる特性を有している。穴のサイズを変えることにより、高エネルギー密度の中空アノードグロー放電の強度が変えられ(図3を比較)。そして少なくとも第1及び第2グループの穴92、94の所定の異なる特性は、基体の全面にわたり實質的に均一の基体表面処理を与えるように選択される。好ましい実施例では、この特性は、少なくとも第1及び第2グループの穴92、94の穴市が各々異なるように選択される。図示されたように異なるサイズの穴92、94の同心的に配列されたグループを有するグリッド90は、図1について説明した例示的なイオン慣性エッチングに対し實質的な均一性を与える。異なるサイズの穴の別の配列及び異なるサイズの穴の3つ以上のグループも、本発明の概念から逸脱せずに、使用することができる。

グリッド90の多数の穴の各々に生じる中空アノードグロー放電は、グリッドから基体に向かって下方に進み、基体の底面する表面に接近するにつれて強度が低下すると共に膨張する。基体上に穴のパターンが複製されるのを防止するために、同じサイズの穴の穴間隔と異なるサイズの穴の穴間隔は、「D」と表示された最小寸法98が、グループ間及びグループ穴間の多数の中空アノードグロー放電を基体表面において位置させるよう確保するように選択されるのが好ましい。ここに示す実施例では、寸法98が約0.2mmであるが、選択された特定

のイオン慣性プロセスに基づいて穴パターンの複製を防止するように別の穴間隔を使用してもよい。好ましい実施例では、同じサイズ及び異なるサイズの穴間の間隔は、ウェハ又は他の基体上に穴のパターンが複製されるのを防止するために同じ寸法に選択されるが、少なくとも第1及び第2の穴グループの穴のパターンが基体上に複製されない限り、本発明により他の穴間隔構成を使用することができる。

グリッド90の「T」と表示された厚み104は、多数の穴における中空アノードグロー放電を維持しないほど薄過ぎることなく、しかもこれを消滅するほど厚過ぎることがないようにすればよい。ここに示す実施例90では、0.12mmないし0.8mmの厚みがある有効であると分かっているが、本発明の概念から逸脱せずに他の厚みを使用することもできる。グリッド90の材料としては、変形や溶解を生じることのないアルミニウムのような適当な材料が選択される。

図5を参照すれば、本発明による例示的なイオン慣性プロセスのための高エネルギー密度の均一化グリッドの構成原理を説明するのに有用なグラフが110で一般的に示されている。例示的なイオン慣性プロセスは、化学反応C、Fによる半導体ウェハのエッチングである。グラフ110は、縦軸に選択された特定の基体表面プロセスの指数、ここでは「エッチング割合」を、横軸である穴サイズの増加と共にプロットしている。

グラフ110は、本発明によるイオン慣性プロセスのための高エネルギー密度の均一化グリッドを構成するのに使用される1つの手順の例である。図4に示された圧力に対し、種々の均一サイズ穴をもつ種々のグリッドが図1Bの3極管反応炉30に多数取り付けられ、種々の均一サイズ穴の各グリッドに対して得られるエッチング割合の測定値がとられる。グラフ110では、これらのエッチング割合が内実のボックスで概略的に示されたデータ点としてプロットされている。低い圧力の設定点はグラフ110を右へシフトし、高い圧力の設定点はグラフ110を左へシフトさせる。均一化グリッドを設計するためには、グラフ110の中心におけるような1つの選択されたサイズの穴のグリッドを用いて基体にわたるエッチング割合についての均一性のプロフィールメータ測定値がとられる。意図されたエッチング割合の上下での均一状態からのずれは、グラフ110を参照しそし

エッチング割合が均一状態からずれる領域に対して意図されたエッチング割合を与える穴サイズを選択することによって提供される。次いで、均一性を与えるように選択された種々のサイズの穴のグループをもつグリッドが構成され、プロフィールメータの測定が行われ、そして実質的な均一性が得られるまで同じプロセスが繰り返される。グラフ110は単なる例示に過ぎず、本発明のイオン優先プロセスのための高エネルギー密度の均一化グリッドは、本発明の概念から逸脱せずに、他の制御グリッド及び設計方法論により、1つ異なる寸法及びパラメータについての他の種類のデータをグラフ110に示されたものとは異なる方向に沿って収集することにより、他のイオン優先プロセスに対して設計できることが明らかであろう。

図6を参照すれば、本発明による化学優先処理のための高エネルギー密度の均一化グリッドが120で一般的に示されている。図4の実施例のイオン優先処理のための高エネルギー密度の均一化グリッド90の場合と同様に、グリッド120は、適当な2電極、3電極又は他の多電極反応炉に取り付けられ、図1Bの3極管反応炉がここに示す好ましい実施例である。図4の実施例のイオン優先処理のための高エネルギー密度の均一化グリッド90の場合とは異なり、即ち高エネルギー密度の中空アノードグロー放電の相対的な強度を決定するのが異なる穴サイズであって、これが基体表面処理の実質的な均一性を与えるように選択される場合とは異なり、化学優先処理のための図6の実施例のグリッド120は、選択された化学優先プロセスに対して処理される基体の全表面にわたり実質的に均一な基体表面処理を与えるように選択された仕方で平衡状態から外れた所定の非平面プロファイルを持している。本発明によれば、中空アノードグロー放電の局所的な強度は、処理されるべき基体からグリッドまでの局所的な間隔によって決定され、この間隔を制御可能に変えることにより、選択された化学優先プロセスに対し実質的に均一な基体表面処理を行うことができる。

ここに示す実施例では、均一化グリッド120は、アルミニウムのような部材122を含み、これを通して一般的に124で示す複数の等サイズの穴が均一な間隔関係で設けられる。ここに示す実施例では、グリッド120の所定の非平面プロファイルは、二次元的に連続的形態とされて、中央に位置する穴は周囲に位置する

穴よりも基体から更に離間されるように選択される。グリッド120の厚みは、均一化グリッド120が溶解するように薄過ぎてはならず、しかも高エネルギー密度のグロー放電がそれ自体で消滅するように厚過ぎてもならない。典型的な厚みの値は、0.12mmないし8.3mmであるが、本発明の概念から逸脱せずに他の厚みを使用することもできる。

選択されたいかなる化学優先プロセスの場合も、非平面プロファイルは、その選択された化学優先プロセスに対しウェハの全面に実質的な均一性を与えるように選択される。選択された特定の化学優先プロセスに対応する特定の非平面プロファイルを選択するために、その選択された化学優先プロセスの指数の測定が、基体の全面の周りの離間された点において、基体から第1の所定の距離に取り付けられた平面グリッドを使用して行われる。この平面グリッドは、次いで、反応炉において、基体から異なる所定の距離に取り付け直され、その選択された特定の化学優先プロセスの指数が同じ基体点において測定される。同じ1組の基体点に対して、平面グリッドを取り付け直して、その選択された化学優先プロセスの指数を測定する工程は、所定の回数繰り返される。基体の同じ点の周りの位置での指数測定値の各組は、実質的に一定の指数に対する基体から平面グリッドまでの間隔の特定値によってパラメータ化され、各点において同じ指数を与える間隔は、直接得られるか、又は測定値からの外挿もしくは他の計算技術によって得られる。この間隔は、選択された特定の化学優先プロセスに対し実質的な均一性を与えるために非平面プロファイルを平面状態からいかにずらすかを特定するものである。ここに示す実施例の凹状グリッド120以外の種類の（段状の）非平面プロファイルや連続的な非平面プロファイルを、本発明の概念から逸脱せずに使用することができる。

図7を参照すれば、130で一般的に示されたグラフは、電極間隔（インチ）を縦軸としてウェハの縁からの位置（ミリメートル）を横軸にプロットしたもので、曲線132、134及び138で示されたように種々の圧力における種々の均一エッチング割合に対してパラメータ化したものである。グラフ130は、後述されたグリッドが上部電極から懸架され、テフロンパフが側部を取り巻くような静電チャックをもつ矩形2極管チャンバにおいて実験的に得られたもの

である。選択された特定の化学優先プロセスは、アルミニウムエッチングであった。

使用されたサンプルは、8インチアルミニウム0.5%Cuのウェハで、200℃においてDUV（深紫外線）ベークングされたものであった。3つの値観点をもつ3ファクタ二次式(quadratic)設計を使用して、18回連続の実験を行った。この実験中一定に保持したのは、50sccmのCl₂、15sccmのSiCl₄、800W、及び10torrのHe背圧であった。変更したファクタは、圧力（80mtorr-120mtorr）、電極間隔（0.25インチ-1.25インチ）、及び接地されたグリッドの穴サイズ（3/16インチ-5/8インチ）であった。全てのウェハは部分的にエッチングされ、各ウェハの直径に沿った14の点においてプロフィールメータの測定が行われた。これらの測定は、エッチングの前、エッチングの後、及びレジストの剥離後に行われた。このデータから、アルミニウム(A1)のエッチング割合及びレジストのエッチング割合が各ウェハ上の14の各点において計算された。測定された応答は、ウェハにわたる平均アルミニウム及びレジストエッチング割合と、エッチング割合の均一性であった。均一性についての詳細な図は、ウェハの縁から中心までの7つの点におけるエッチング割合を応答として使用して実験結果を分析することにより得られた。これらプロットによるデータを用いて、図7の曲線132、134、138を形成し、所与のエッチング割合に対し電極間隔をウェハ位置と共にプロットした。各曲線のデータ点を輪郭プロットにマークし、曲線がいかに形成されたかを示した。これら曲線は、ウェハ上の特定の位置において特定のエッチング割合を生じさせるのにどんな間隔が必要かを示している。又、これら曲線は、選択された例示的な化学優先プロセスに対しウェハにわたって均一なエッチング割合を生じるのに必要な接地グリッドの形状を表している。又、本発明の概念から逸脱することなく、他の化学優先処理、他の制御グリッド及び設計方法論、並びに図7以外のデータを収集する方法も使用することができる。

図8を参照すれば、本発明による高エネルギー密度低圧力のグリッドが140で一般的に示されている。このグリッド140は、好ましくは図1Bの3極管反応炉30内に取り付けられるが、本発明の概念から逸脱することなく、図1Aの

2極管反応炉10、又は2極管又は3極管として構成された他の反応炉、或いはその他の多電極反応炉に取り付けることもできる。グリッド140は、一般的に142で示された複数の貫通する穴を有し、これらは、4.9mmより大きく、典型的には11mmに選択された所定の巾を有している。図1について上記したように、2極管又は3極管構成の反応炉の圧力が、ある値以下に、即ち図1Bの3極管反応炉30の場合には約100sTorr以下にそして図1Aの2極管反応炉10の場合には約800sTorr以下に減少されたときには、処理効率が実用的でないようになるか又は処理が完全に停止してしまい、その結果、2極管又は3極管管又は他の多電極反応炉として構成された従来知られている反応炉によって製造できるマイクロ構造体の形式、幅尺度及び微細さについての限界に達する。本発明によれば、4.9mm以下の大きさの巾の穴ではなく、典型的に11mmである穴を有したグリッド140を設けることにより、これまでの実用的な圧力に対する下限が克服され、これまで考えられなかったサイズ及び微細さ程度のマイクロ構造体を製造することができる。これまで存在する3極管反応炉では、グリッドの穴巾が4.9mmより大きいものはない。上記したように、圧力及び付与された高周波励起の両方の関数であるグリッドの穴のダークスペースは、圧力の減少と共に増加する。これまでの穴サイズの場合には、穴のダークスペースは、これまでの最小圧力レベルにおいて接地グリッドの中空アノードグロー放電を實際上消滅させるか及び/又は歪めるものであり、従って、形成することのできるマイクロ構造体の幾何学形状は、現在及び将来のVLSI及び他の用途に所望される以上の大きさに「凍結」されている。

本発明によれば、これまでの最小圧力よりも低い圧力においてグリッドの空所にそのサイズのダークスペースが生じるにも係わらず、グリッド140の中空アノードグロー放電がそれ自身を維持するに充分なほど穴が大きく、従って、グリッド140を有する図1Bの3極管反応炉30は、これまでの最小圧力より低く選択された圧力において基体表面処理を行うことができる。本発明によるグリッド140は、このように、これまで不可能と考えられていた圧力の範囲で基体表面処理を行うことができ、従って、これまで考えられなかった形式、幅尺度及び微細さのマイクロ構造体を製造することができる。グリッド140のここに示す

実施例では1.1mmの穴巾が好ましいが、4.9mmの最小より大きい他の穴巾でも、プラズマが形成されると共に、これまで可能である考えられていた大きさよりも少なくとも1桁大きいイオン密度の対应的な増加が与えられる。

図9を参照すれば、改良された低圧力、選択エネルギーイオン特性及び又は化学活性処理のための本発明の実施例が150で一般的に示されている。図1Bの3極管反応炉30の上部電極34に代わり、反応容器の内部に接地されたグリッド154と離間関係で高密度ソース152が設けられ、グリッド154は、次いで、下部電極156と離間関係にされる。高密度ソース152とグリッド154との間には、一般的に158で示されして「REMOTE」と表示された第1の基体表面処理領域形成領域が設けられ、そしてグリッド154と下部電極156との間には、一般的に160で示され、「RIE」と表示された第2の基体表面処理領域形成領域が設けられる。高密度ソースは、高周波誘導(RFI)ソース、電子サイクロトロン共振(ECR)ソース、電気の増大ソース、及びとりわけ当業者によく知られた螺旋共振器のような何らかの適当なソースでよい。

第1の励起源162は、高密度ソース152に接続されて、これを付勢する。図1Bの要素42、44及び46に対応するガス注入システム164、温度制御システム166及び圧力制御システム168が反応容器に接続され、そして図1Bの実施例30と実質的に同様に機能するが、説明簡略化のため、ここで再び詳細に説明はしない。

高エネルギー密度のソース152は、接地されたグリッド154により発生される中空アノードグロー放電の効率を上昇させ、即ち第1の基体表面処理領域形成領域158において高密度ソース152によって発生される高エネルギーイオンは、グリッド154の穴を通して第2の基体表面処理領域形成領域160に透過し、そして所与の低圧力動作点において存在し得る以上の比較的大きな割合の選択されたエネルギーのイオンをこの第2の基体表面処理領域に与えることによりグリッド154の中空アノードグロー放電を相乗的に増大する。高密度ソース152のイオンは、接地されたグリッドの中空アノードグロー放電と相乗的に協働し、より大きな割合のイオンを領域160に与え、これらイオンは、制御可能な負のRFソース170により下部電極156を制御可能にバイアスすることに

より選択的に抽出される。制御可能なソース170は、上部領域158から特定エネルギーレベルのイオンを抽出するように大きさが変えられる負の電位を発生する。例えば、ポリシリコンのエッチングにおいて、薄膜の非等方性エッチングを行うに必要な最小イオンエネルギーを使用することが所望される場合には、電荷の増設及びゲート酸化物のダメージを防止するために最小エネルギーイオンを選択することが所望され、この最小エネルギーイオンは、選択されたエネルギーのイオンを開始する対応する負の電位を下部電極に印加するようにイオンセレクトク170の電位を変えることにより容易に選択することができる。もちろん、本発明の概念から逸脱せずに、実施例150の他の適用もなし得る。

上記した実施例では、グリッドが接地された状態で、好ましいバイアスが中空アノードグロー放電を与えたが、本発明の概念から逸脱せずに、グリッドが付勢され、そして例えば、薄膜除去のための中空アノードグロー放電が形成されてもよいことが理解されよう。以上に述べた多数の実施例における本発明の装置、例えば、主としてイオン活性プロセスのためのグリッド実施例90(図4)及び主として化学活性プロセスのためのグリッド実施例120(図6)は、本発明の概念から逸脱せずに、例えば、高エネルギー密度の均一化グリッド90又は120を反応炉150(図9)に設けることによって結合されてもよいことが理解されよう。

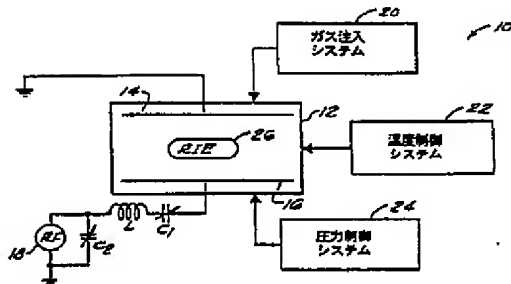


FIG. 1A

(従来例)

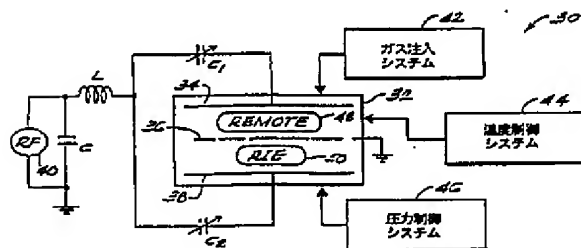


FIG. 1B

(従来例)

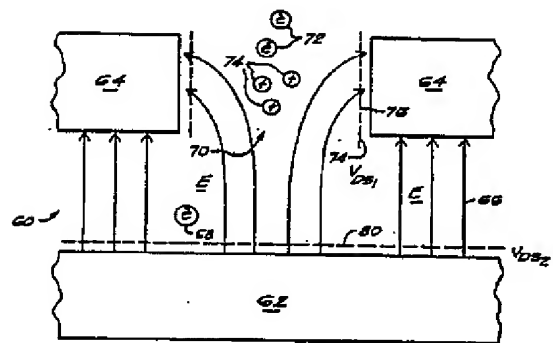


FIG. 2

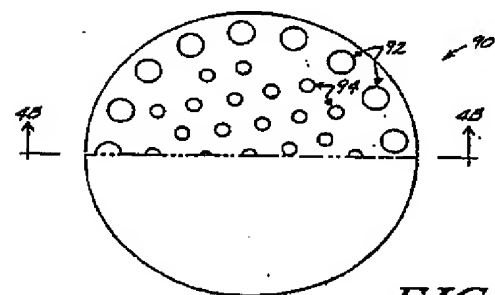


FIG. 4A

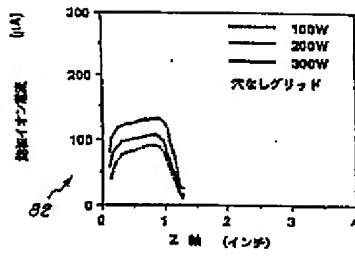


FIG. 3A

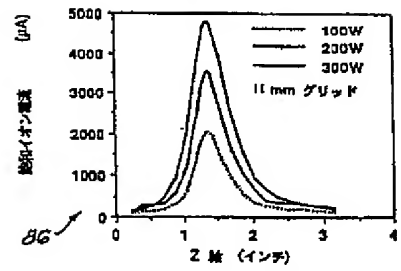


FIG. 3C

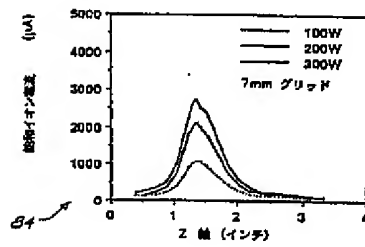


FIG. 3B

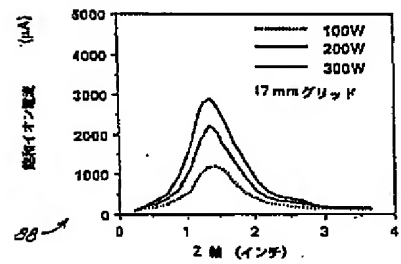


FIG. 3D

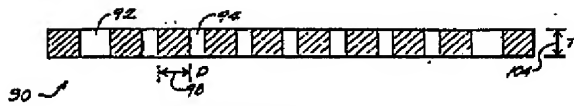


FIG. 4B

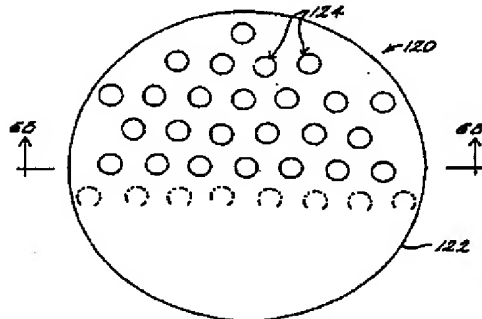


FIG. 6A

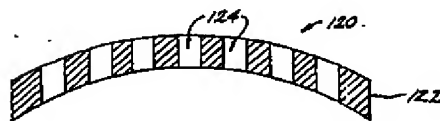


FIG. 6B

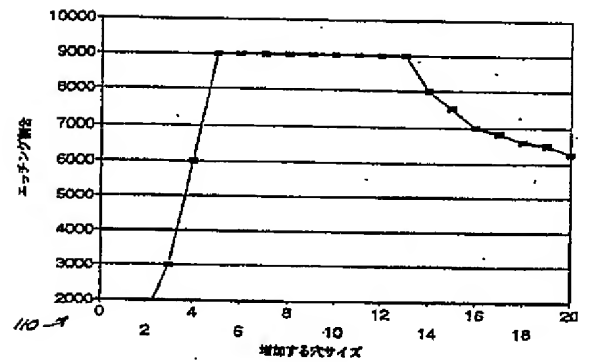


FIG. 5

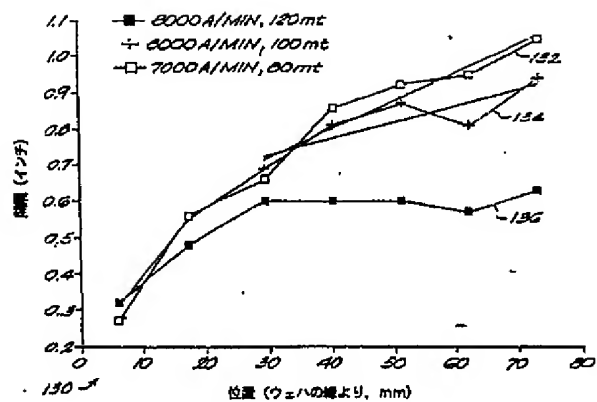


FIG. 7

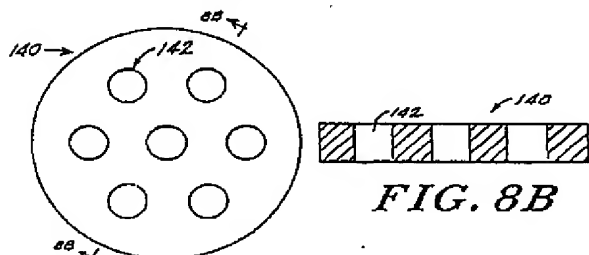


FIG. 8A

FIG. 8B

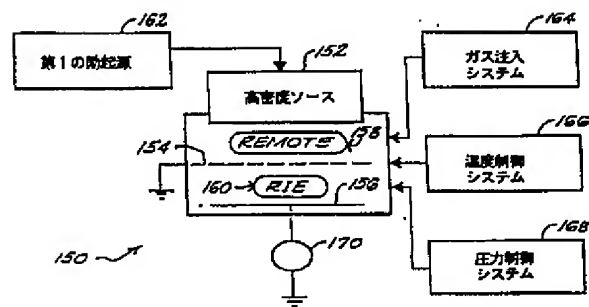


FIG. 9

国際調査報告		International application No. PCT/JP93/02544
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (IPC) 44B1, 31/00 US CL. 1,194,945, 643; 118/712M, 712E, 712R According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELD SEARCHED Information document searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 154/343, 643; 118/712, 712M, 712E, 712R, 264/264.31, 264.32, 264.34 Documents searched other than electronic documents in the event that such documents are included in the field searched Documents that have been searched during the international search (dates of data base used, where practicable, search level used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Character of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US, A, 4,631,105 (Carroll et al) 23 December 1986.	
A	US, A, 4,792,378 (Rose et al) 20 December 1988.	
A	US, A, 4,780,109 (Slask et al) 25 October 1990.	
A	US, A, 4,987,888 (Koshitar et al) 18 September 1990.	
A	US, A, 4,971,883 (Powell et al) 20 November 1990.	
D. Further Annotations are made in the classification of Item C. <input type="checkbox"/> See patent family member.		
* Further annotations of item C. "A" documents defining the patent state of the art which is not intended to be part of published documents "E" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "F" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "G" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "H" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "I" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "J" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "K" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "L" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "M" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "N" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "O" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "P" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "Q" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "R" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "S" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "T" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "U" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "V" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "W" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "X" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "Y" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art "Z" documents which are not prior art but which may be relevant to the patent state of the art		
Date of the initial completion of the international search		Date of making of the international search report
17 September 1993		30 NOV 1993
Name and mailing address of the applicant Department of Physics and Technology University of Tokyo Hongo, Tokyo, 113, Japan		Authorized officer K. KANAKURA, S. KASEKI Telephone No. 1700-2000
Date of publication of the international search report 17 September 1993		

国際調査報告		International application No. PCT/JP93/02544
C (Continued). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Character of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US, A, 4,854,263 (Cheng et al) 06 August 1989.	
A	US, A, 4,349,409 (Shibayama et al) 14 September 1982.	
A	JP, A, 014481 (Sugawara) 09 January 1989.	
A	JP, A, 61239636 (Sasaki) 24 October 1986.	
A	JP, A, 6039132 (Yoshizawa) 01 March 1985.	
A	JP, A, 0150335 (Sudo) 27 February 1989.	
A	JP, A, 0119129 (Fujitama) 23 January 1990.	
A	JP, A, 62286127 (Toritua) 12 December 1987.	

Form PCT/ISA/219 (Amendment of annex sheet July 1990)